

**МИХАЛЕВИЧ В. М.**, докт. техн. наук, проф., ВНТУ, Вінниця

**ДОБРАНЮК Ю. В.**, аспірант, ВНТУ, Вінниця

**ТРАЧ Є. А.**, магістрант, ВНТУ, Вінниця

## **ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ БІЧНОЇ ПОВЕРХНІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗРАЗКІВ ПІД ЧАС ВІСЕСИМЕТРИЧНОГО ОСАДЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Детально розглянуто задачу визначення НДС та граничних деформацій матеріалу бічної поверхні циліндричних зразків під час вісесиметричного осадження із використанням комбінування імітаційного та експериментально-аналітичного моделювань.

Подробно рассмотрена задача определения НДС и предельных деформаций материала боковой поверхности цилиндрических образцов при осесимметричной осадке с использованием комбинирования имитационного и экспериментально аналитического моделирования.

Definition problem of the deformation's mode and ultimate strain of a lateral surface's material of cylindrical patterns during axial-symmetrical compression with use of a combination of imitating and experimentally analytical modelling is in detail considered.

**Вступ.** Вісесиметричне осадження циліндричних зразків є не тільки поширеною технологічною операцією із наявністю вільної поверхні, але і одним із основних видів лабораторних досліджень для визначення найважливіших технологічних властивостей матеріалів.

Теорія процесу осадження є базовою для створення та удосконалення певних теоретичних методик розрахунку технологічних параметрів різноманітних процесів кування, об'ємного штампування, прокатки та ін. Тому дані про особливості та закономірності указанного процесу представляють теоретичний та практичний інтерес. В роботах [1 - 8] висвітлено ряд результатів, які отримано на основі експериментально-аналітичного підходу. Протягом останніх років значного поширення набуло моделювання процесів деформування методами скінченних та граничних елементів за допомогою спеціалізованих пакетів [9 – 11]. Тому важливим є порівняльний аналіз та комбінування сучасних методик дослідження процесів пластичного деформування.

**Основна частина.** Відповідно до експериментально-аналітичної методики [1, 4 – 8], для характеристики граничного стану початковою інформацією є експериментально отримана залежність між осьовою та коловою деформаціями у вигляді таблично заданої функції, яку апроксимуємо залежністю між компонентами деформацій у вигляді розв'язку диференціального рівняння:

$$\frac{d\varepsilon_z}{d\varepsilon_\varphi} = -\frac{1}{2} - \frac{3}{2}e^{-\varepsilon_\varphi/m}, m > 0, \quad (1)$$

де  $m > 0$  – константа, яка визначається експериментально.

Використовуючи вирази для знаходження накопиченої деформації та показника напруженого стану [2, 4 – 6, 12], апроксимацію кривої граничних деформацій під час стаціонарного деформування [5, 6], модель накопичення пошкоджень, що базується на лінійному принципі [4 – 6], отримали модель граничного стану бічної поверхні циліндричних зразків під час вісесиметричного осадження за умови бочкоутворення:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_u(t, m) = m \int_0^t \sqrt{\frac{1}{(1-x)^2} + 3} \cdot dx = \frac{m}{2} [4 + \ln(2 + y(t)) - \\ - \ln(3 \cdot y(t)) - 2 \cdot (y(t) + 1)], \quad y(t) = \sqrt{1 + 3(1-t)^2} - 1, \\ \eta(t) = \frac{3t-2}{y(t)+1}, \quad t \in [0, 1); \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\int_0^{t_*(m)} \frac{m \cdot \sqrt{\frac{1}{(1-t)^2} + 3}}{a_2 \cdot \exp \left( - \frac{(3 \cdot t - 2) \cdot \ln \left( \frac{(1-\eta(t)) \cdot a_1}{2 \cdot a_2} + \frac{(1+\eta(t)) \cdot a_2}{2 \cdot a_3} \right)}{y(t) + 1} \right)} dt - 1 = 0. \quad (3)$$

Із використанням моделі (2), (3), розроблено експериментально-аналітичні методики визначення та прогнозування граничних деформацій під час вісесиметричного осадження.

Сутність комбінованої методики полягає в об'єднанні імітаційного моделювання за допомогою програмного комплексу DEFORM 3D та експериментально-аналітичного підходу [11]. Відповідно до цієї методики, вихідними даними для визначення залежності між осьовою  $\varepsilon_z$  та коловою  $\varepsilon_\varphi$  деформаціями є результати чисельного моделювання процесу осадження (рис. 1, 2).

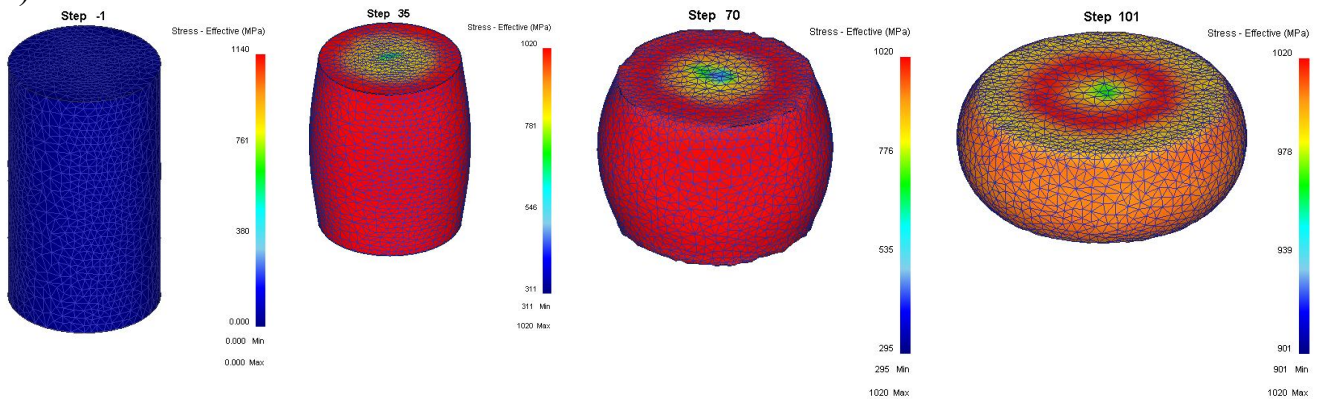


Рис. 1. Розподілення інтенсивності напружень по об'єму циліндричного зразка під час осадження: (зліва направо) початковий етап; на 35 кроці осадження; на 70 кроці осадження; кінцевий крок деформування відповідно

Використовуючи комбіновану методику імітаційного та експериментально-аналітичного моделювань, а також методику прогнозування граничних деформацій, визначено граничні деформації бічної поверхні циліндричного зразка під час вісесиметричного осадження (рис. 3).

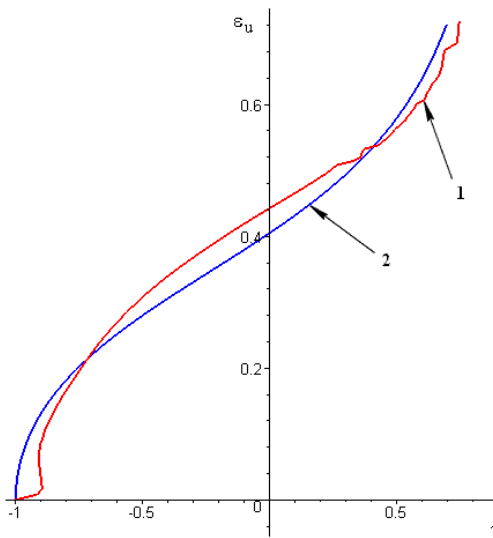


Рис. 2. Траєкторії деформації точки на вільній поверхні циліндричного зразка: 1 – за результатами, отриманими у DEFORM 3D; 2 – відповідно до комбінованої методики

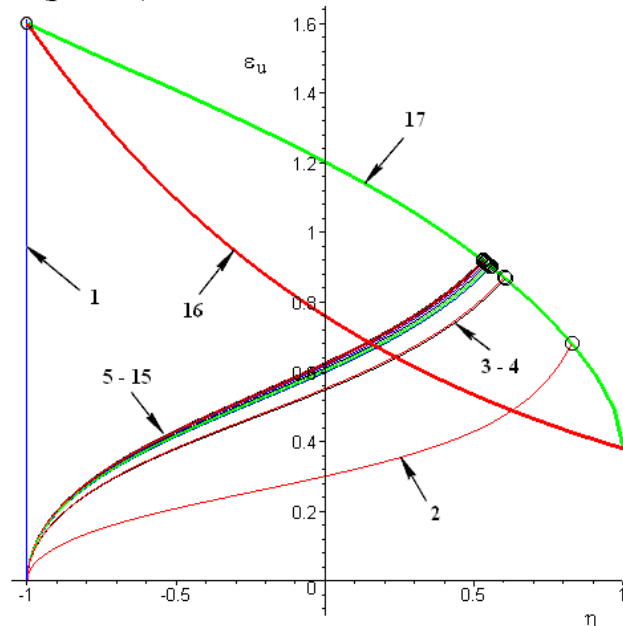


Рис. 3. Криві граничних деформацій та траєкторії деформацій бічної поверхні циліндричного зразка із сталі X18H9T під час вісесиметричного осадження: 1 – 15 – траєкторії деформацій; 16, 17 – криві граничних деформацій під час стаціонарного ( $a_1 = 1,6$ ;  $a_2 = 0,76$ ;  $a_3 = 0,38$ ; [13]) та нестационарного деформувань

**Висновки.** Результати, що представлені на рис. 2, з одного боку свідчать про достовірність даних з моделювання напруженого стану в DEFORM 3D, а з іншого боку – про переваги комбінованої методики: на кривій 2, на відміну від траєкторії 1, відсутні незрозумілі коливання, породжені, швидше за все, обчислювальною похибкою.

Показано, що прогнозування граничних деформацій бічної поверхні циліндричних зразків під час вісесиметричного осадження та відтворення траєкторії деформацій відповідно до комбінованої методики імітаційного та експериментально-аналітичного моделювань може бути здійснено за результатами 3 – 4 початкових етапів деформування. Результати розв’язання задачі нададуть можливість на початкових стадіях деформування не тільки прогнозувати момент досягнення граничного стану і при необхідності вносити певні зміни у процес деформування, але й реалізовувати експрес-методику дослідження властивостей матеріалу за рахунок зменшення трудомісткості експериментальних або чисельних досліджень.

**Список літератури:** 1. *Смирнов-Аляев Г. А.* Сопротивление материалов пластическому деформированию. Инженерные методы расчета операций пластической обработки материалов / *Г. А. Смирнов-Аляев* – М. – Л. : Машгиз, 1961. – 463 с. 2. *Огородников В. А.* Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / *В. А. Огородников* – К. : УМК ВО, 1989. – 152 с. 3. *Матвийчук В. А.* Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: монография / *В. А. Матвийчук, И. С. Алиев*. – Краматорск : ДГМА, 2009. – 268 с. ISBN 978-966-379-317-7. 4. *Михалевич В. М.* Побудова ефективних обчислювальних схем у Maple під час розв'язання задачі визначення граничних деформацій за умов складного деформування [Електронний ресурс] / *В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк, О. В. Михалевич* // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – №2. – 2009. – 7 с. – Режим доступу до журн.: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009\\_2/2009-2.htm](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2009_2/2009-2.htm). 5. *Михалевич В. М.* Вісесиметрична осадка циліндричних заготовок / *В. М. Михалевич, В. О. Краєвський, Ю. В. Добранюк* // Наукові нотатки: міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). – Луцьк : – 2009 – Випуск 25, ч. 1 – С. 241–249. 6. *Михалевич В. М.* Модель пластичного деформування матеріалу на вільній поверхні циліндричних зразків під час вісесиметричного осадження. Частина 1. Апроксимація деформацій / *В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк* // Вісник Вінницького політехнічного університету. – 2010. – №2 – С. 97 – 102. 7. *Михалевич В. М.* Экспериментально-аналитическая методика и математические модели деформированного состояния на свободной боковой поверхности цилиндрических образцов при осесимметричной осадке / *В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк* // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА – 2010 – №1(22) – С. 114–119. 8. *Михалевич В. М.* Модель пластичного деформування матеріалу на вільній поверхні циліндричних зразків під час вісесиметричного осадження. Частина 2. Визначення накопиченої деформації та інтенсивності логарифмічних деформацій на основі різних апроксимацій / *В. М. Михалевич, Ю. В. Добранюк* // Вісник Вінницького політехнічного університету. – 2010. – №3 – С. 99–102. 9. *Маковецкий А. В.* Использование конечно-элементного моделирования в ряде задач обработки металлов давлением / *А. В. Маковецкий, А. В. Маковецкий* // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА – 2008. – №1(19). – С. 61–66. 10. *Шестаков Н. А.* Моделирование потери устойчивости пластической деформации / *Н. А. Шестаков, В. Н. Субич, А. В. Власов* // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА. – 2009. – №1(20). – С. 9–12. 11. *Добранюк Ю. В.* Моделювання за допомогою програмного комплексу DEFORM 3D напружено-деформованого стану на бічній поверхні циліндричного зразка під час торцевого стиснення / *Ю. В. Добранюк, Л. І. Алієва, В. М. Михалевич* // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА. – 2010. – №4(25). – С. 3–10. 12. *Лебедев А. А.* О выборе инвариантов напряженного состояния при решении задач механики материалов / *А. А. Лебедев, В. М. Михалевич* // Пробл. Прочности. – 2003. – № 3. – С. 5–14. 13. *Огородников В. А.* Параметры модели, формирующей карту материала в процессах обработки давлением / *В. А. Огородников, Л. И. Алиева, В. М. Кожушаный, И. А. Деревенько* // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – Краматорск: ДГМА – 2011 – №1(26) – С. 91–98.